

髋部术后患者深静脉血栓风险预测模型的系统评价

谈 周^{1,2}, 李春梅¹, 滕 慧^{1,2}, 陈 晨¹, 罗星宇¹, 刘平芳²

1. 吉首大学医学院 (湖南吉首 416000)

2. 湖南医药学院总医院护理部 (湖南怀化 418000)

【摘要】目的 系统检索并评价髋部术后患者深静脉血栓风险预测模型的研究, 为模型的开发优化及临床应用提供科学参考。**方法** 检索中、英文数据库中关于髋部术后患者深静脉血栓风险预测模型的研究, 检索时限为建库至 2025 年 7 月 10 日。2 名研究者独立筛选文献和提取数据, 采用预测模型 PROBAST 偏倚风险评价工具对纳入的研究进行偏倚风险和适用性评价。对预测模型的因子及性能、构建与验证情况进行描述性分析。**结果** 共纳入 17 篇文献, 涉及 27 个风险预测模型, 预测因子数量为 4~10 个, 出现频次较高的预测因子包括年龄、D-二聚体水平、卧床时间、合并糖尿病、高血压、受伤至手术时间、BMI、纤维蛋白原、凝血酶原时间、活化部分凝血活酶时间。纳入模型的 AUC 为 0.579~0.982; 多数模型进行了内部验证, 但均未进行外部验证。17 项研究总体适用性较好, 但普遍存在高风险偏倚。**结论** 现有的髋部术后患者深静脉血栓风险预测模型的预测性能较好, 但尚存诸多不足, 未来研究应关注研究设计、丰富变量筛选方式、探索和优化建模方法、加强模型的内外验证。

【关键词】 髋部手术; 深静脉血栓; 预测模型; 系统评价**【中图分类号】** R 687.3; R 543.6**【文献标识码】** A

Systematic evaluation of predictive models for deep vein thrombosis risk in patients undergoing hip surgery

TAN Zhou^{1,2}, LI Chunmei¹, TENG Hui^{1,2}, CHEN Chen¹, LUO Xingyu¹, LIU Pingfang²

1. Medical College of Jishou University, Jishou 416000, Hunan Province, China

2. Department of Nursing, General Hospital of Hunan Medical College, Huaihua 418000, Hunan Province, China

Corresponding author: LIU Pingfang, Email: liupf_hyzy@163.com

【Abstract】Objective To systematically search and evaluate studies on deep vein thrombosis (DVT) risk prediction models for postoperative hip patients, to provide scientific references for the development and optimization of models and their clinical application. **Methods** Chinese and English databases were searched for studies on predictive models of DVT risk in postoperative hip patients, with a timeframe from the inception to 10 July 2025. Two investigators independently screened the literature and extracted the data, and the included studies were evaluated for risk of bias and applicability using the predictive models PROBAST risk of bias evaluation tool. The predictive factors and performance, construction and validation of the prediction model were descriptively analyzed. **Results** A total of 17 studies involving 27 risk prediction models were included, with the number of

DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202501030

基金项目: 湖南省自然科学基金区域联合基金 (2024JJ7345)

通信作者: 刘平芳, 主任护师, 硕士研究生导师, Email: liupf_hyzy@163.com

predictors ranging from 4 to 10. Predictors that appeared more frequently included age, D-dimer level, bed rest time, comorbid diabetes mellitus, hypertension, time from injury to surgery, BMI, fibrinogen, plasminogen time, and activated partial thromboplastin time. The AUC of the included models ranged from 0.579 to 0.982; most of the models were internally validated, but none were externally validated. The 17 included studies had good overall applicability, but were generally at high risk of bias. **Conclusion** The predictive performance of existing models for predicting the risk of DVT in patients undergoing hip surgery is good, but many shortcomings remain. Future studies should focus on study design, enriching the way of variable screening, exploring and optimizing the modelling method, and strengthening the internal and external validation of the models.

【Keywords】 Hip surgery; Deep vein thrombosis; Predictive model; Systematic evaluation

髋部手术主要用于治疗髋关节疾病引起的关节疼痛和功能障碍,是目前骨科改善髋部疾病患者终末期生活质量常见手术之一^[1-2],受手术时长、术后卧床、手术创伤致血液高凝状态等因素影响,术后极易诱发下肢深静脉血栓(deep vein thrombosis, DVT),严重可导致肺栓塞(pulmonary embolism, PE),合并多种疾病时还可能发生非预期性死亡^[3]。据流行病学调查显示,DVT是仅次于缺血性心脏病和脑卒中的第三大常见致死性心血管疾病,有着较高的患病率、死亡率和致残率^[4-5]。我国每年有3~5万人进行髋部手术^[6],术后DVT发生率为14.13%~20.18%,患病率可高达66.7%^[7-8],其中33%的DVT患者可在10年内复发^[9],下肢DVT不仅导致患者住院周期和治疗成本增加,还会影响疾病预后和远期生活质量。因此,早期识别髋部术后DVT高风险人群,采取正确预防和干预手段对减少患者术后并发症、改善临床预后至关重要。临床预测模型是基于多个预测变量建立的统计模型,用以预测相关结局事件发生的概率^[10]。目前,国内外已有较多研究对髋部术后患者DVT风险预测模型进行探讨,但尚需进一步确定这些模型的预测能力和临床实用价值^[11]。因此,本研究拟对已构建的髋部术后患者DVT风险预测模型进行系统检索和评价分析,为模型的开发优化及临床应用提供参考。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准:①研究对象为实施髋部手术的患者,年龄 ≥ 18 岁;②研究内容为构建或验证髋部术后患者DVT风险预测模型;③结局指标为术后发生DVT;④研究类型包括队列研究、病例对照研究和横断面研究。排除标准:①非中、英文

文献;②会议摘要或不能获取全文的研究;③重复发表的文献;④未描述模型构建具体过程的文献。

1.2 文献检索策略

系统检索国内外数据库,包括PubMed、Embase、Web of Science、Cochrane Library、SinoMed、知网、万方、维普,采用主题词加自由词的检索方式,检索时限为建库至2024年11月5日,后更新检索时间至2025年7月10日,收集关于髋部术后患者深静脉血栓风险预测模型的文献。采用主题词和自由词相结合的方式,同时追溯纳入文献的参考文献,以补充符合标准的文献。中文检索词为髋关节置换、髋部手术、全髋关节置换术、髋部骨折、股骨颈骨折、股骨转子间骨折、股骨转子下骨折、骨盆骨折、静脉血栓形成、深静脉血栓形成、静脉血栓栓塞症、深静脉血栓、肺栓塞、风险预测、预测模型、风险评分、危险因素、列线图;英文检索词为hip fractures、hip fracture、hip arthroplasty、total hip arthroplast、intertrochanteric fracture、subtrochanteric fracture of femur、pelvic fracture、venous thrombosis、deep-vein thrombosis、deep venous thrombosis、pulmonary embolism、risk assessment、risk predict、risk score、nomogram mode等。以PubMed为例,检索策略见框1。

1.3 文献筛选与资料提取

由2名接受过文献检索和循证护理系统学习的研究者,根据纳排标准独立筛选文献、提取资料并交叉核对;如有分歧,则协商或请第三方进行裁决。使用NoteExpress软件梳理文献;先后阅读文题、摘要和全文进行筛选,确定纳入文献,对纳入文献的参考文献进行追溯补充。使用预测模型研究系统评价的关键评估和数据提取清单

```
#1 "hip fractures"[Mesh] OR "hip fracture" [Title/Abstract] OR
"hip arthroplasty" [Title/Abstract] OR "total hip arthroplast*"
[Title/Abstract] OR "femoral neck fracture" [Title/Abstract] OR "
intertrochanteric fracture" [Title/Abstract] OR "subtrochanteric
fracture of femur" [Title/Abstract] OR "pelvic fracture" [Title/
Abstract]
#2 "venous thrombosis"[Mesh] OR "venous thrombosis"[Title/
Abstract] OR "deep-vein thrombosis"[Title/Abstract] OR
"deep venous thrombosis" [Title/Abstract] OR "pulmonary
embolism"[Title/Abstract]
#3 "risk assessment"[Mesh] OR "risk assessment" [Title/Abstract]
OR "risk score"[Title/Abstract] OR "risk assess*" [Title/
Abstract] OR "score" [Title/Abstract] OR "prognos*" [Title/
Abstract] OR "nomogram model" [Title/Abstract]
#4 #1 AND #2 AND #3
```

框1 PubMed检索策略

Box 1. Search strategy in PubMed

(critical appraisal and data extraction for systematic reviews of prediction modelling studies, CHARMS) 对纳入文献信息进行提取^[12]。资料提取内容包括但不限于文献的第一作者、发表年份、国家、研究设计、研究对象、样本量、数据来源、建模方法、候选变量、变量选择方法、预测因子、模型的预测性能及验证等。

1.4 纳入研究的偏倚风险评价

由 2 名研究者采用临床预测模型偏倚风险和适用性评估工具 (prediction model risk of bias assessment tool, PROBAST) 对纳入研究进行质量评价^[13-14]。通过对纳入文献的研究对象、预测因子、结果和统计分析 4 个领域进行预测模型偏倚风险评估; 通过对纳入文献的研究对象、预测因子、结果 3 个方面进行适用性评估, 每个领域评估结果采用低风险、高风险或不清楚进行判断。各领域涵盖 2~9 个标志性问题, 每个问题采用“是/可能是”“不是/可能不是”或“不清楚”进行评价。

1.5 统计学分析

对预测模型的因子及性能、构建与验证情况进行描述性分析。参考 PRISMA^[15] 和 TRIPOD 指南建议进行系统评价报告。

2 结果

2.1 文献筛选流程及结果

初步检索共获得文献 4 803 篇, 经逐层筛选后, 最终纳入 17 篇文献, 文献筛选流程详见图 1。

2.2 纳入文献基本特征

纳入的 17 项研究^[16-32]均来自中国, 且在近 5 年内发表, 涉及 27 个预测模型; 17 项研究均为回顾性研究, 其中 12 项为病例对照研究^[16-23, 29-32], 5 项为队列研究^[24-28], 详见表 1。

2.3 纳入文献偏倚风险与适用性评价

基于 PROBAST 评价标准, 纳入的 17 项研究总体偏倚风险均为高风险, 详见表 2。在研究对

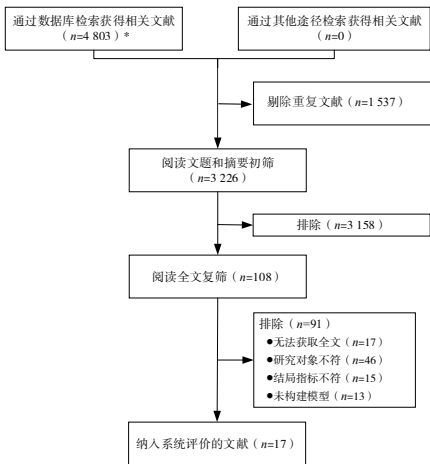


图1 文献筛选流程图

Figure 1. Literature screening flow chart

注: *检索的数据库及检出文献数具体为 PubMed (n=463)、Web of Science (n=1 572)、Cochrane Library (n=286)、Embase (n=907)、中国知网 (n=21)、万方 (n=916)、维普 (n=220)、SinoMed (n=418)。

表1 纳入文献的基本特征

Table 1. Basic characteristics of included literature

纳入研究	发表年份	国家	研究对象	年龄 (岁)	研究设计	诊断标准	总样本量 (建模/验证)	数据来源 (单/多中心)	模型数量
孙丹丹 ^[16]	2021	中国	THA	-	A	-	248	多中心	1
胡建华等 ^[17]	2022	中国	老年FIF	DVT组: 76.68 ± 11.52 非DVT组: 72.54 ± 10.52	A	①	315	单中心	1
刘芳 ^[18]	2022	中国	FNF	-	A	①	120	单中心	1
戎毅等 ^[19]	2022	中国	老年髌骨骨折	80.35 ± 6.71	A	②③④⑤⑥⑦⑧	325	单中心	1
罗雪峰等 ^[20]	2023	中国	C型骨盆骨折内固定术	-	A	②	217	单中心	1

续表1

纳入研究	发表年份	国家	研究对象	年龄（岁）	研究设计	诊断标准	总样本量 (建模/验证)	数据来源 (单/多中心)	模型数量
Huang等 ^[21]	2024	中国	股骨头置换术	DVT组：76.7 ± 6.5 非DVT组：67.8 ± 5.9	A	—	144	单中心	1
刘芳等 ^[22]	2024	中国	股骨颈骨折内固定术	48.92 ± 9.31	A	①	264	单中心	1
禹永振 ^[23]	2024	中国	高龄髋部骨折术	DVT组：85.36 ± 4.02 非DVT组：84.93 ± 4.11	A	②	345	单中心	1
Ding等 ^[24]	2023	中国	THA	63.63 ± 14.74	B	—	1 036/445	单中心	6
Bo等 ^[25]	2024	中国	髋部骨折	—	B	④	353/151	单中心	1
徐青等 ^[26]	2024	中国	THA	中位年龄70	B	①	333/83	单中心	6
邓光桦 ^[27]	2024	中国	FIF	—	B	④	454/192	单中心	1
郑爱美等 ^[28]	2024	中国	髋部骨折	建模组：58.32 ± 14.20 验证组：58.26 ± 13.98	B	—	112/48	单中心	1
苏艳艳等 ^[29]	2025	中国	FNF	—	A	①②④	108	单中心	1
赵晓勇等 ^[30]	2024	中国	老年髋部骨折	80.02 ± 6.20	A	①②④	206	单中心	1
林文韬等 ^[31]	2024	中国	THA	DVT组：71.1 ± 11.5 非DVT组：66.2 ± 10.7	A	②④⑤⑥⑦⑧	364	单中心	1
刘霄龙等 ^[32]	2025	中国	THA	—	A	①②④⑤⑧	148/33	单中心	1

注：THA.髋关节置换术（total hip arthroplasty）；FNF.股骨颈骨折（femoral neck fracture）；FIF.股骨转子间骨折（femoral intertrochanteric fracture）；DVT.深静脉血栓（deep vein thrombosis）；A.病例对照研究；B.队列研究；①.中华医学会《深静脉血栓形成的诊断和治疗指南(第3版)》诊断标准；②.超声多普勒；③.静脉血流图；④.静脉造影；⑤.血浆D-二聚体 > 0.5mg/L；⑥.Homans征阳性；⑦.浅静脉怒张；⑧.患肢胀痛或剧痛，股三角区或小腿有明显压痛；—.未报告。

象领域，17 项研究均被评为高偏倚风险，主要原因是采用了回顾性研究设计。在预测因子领域，8 项研究^[17, 21, 24–25, 28–30, 32]被评为高偏倚风险，因在评估预测因子时均使用了结局相关信息，即上述 8 项研究预测因子中均包含了 D-二聚体（D-D），而该指标作为识别结局事件发生的主要指标之一，使用该结局相关信息可能会发生诊断评估偏倚。在结局领域，7 项研究^[16, 19–20, 24, 27, 29–30]因未报告预测因子评估和确定的时间间隔而被评为“不清楚”；7 项研究^[17, 22–23, 26, 28, 31–32]被评为高风险，主要原因包括：①在定义髋部术后患者 DVT 形成时，未将可能影响结果的预测因子（如术前卧床时间、基线临床特征等）进行控制或排除；②预测因子中包含 Caprini 评分，预测因子与结果之间的关联性可能被高估。在分析领域，17 项研究的自变量事件数（events per variable, EPV）均 < 20，被评为高偏倚风险，EPV 指临床预测模型中每个事件（发生的结局）对应的可用样本数量与预测变量的数量之比；13 项研究^[16–20, 22–23, 27–32]未明确说明数据是否存在缺失；7 项研究^[19, 21, 23, 25, 27, 29, 32]在单因素分析基础上筛选变量；3 项研究^[16, 18, 28]未对校准度进行报告和评价。以上情况均会产生偏倚风险，在一定程度上影响模型预测效果。

在模型适用性方面，17 项研究在“纳入的研究对象或环境设置与综述问题不匹配”“预测因素的定义、评估或时间与综述问题不匹配”“结局的定义、评估或时间与综述问题不匹配”等问题中，均被评定为低风险，显示出较好的整体适用性。

2.4 预测模型构建情况

建模方法方面，13 项研究^[17–23, 25, 27, 29–32]仅采用 Logistic 回归，1 项研究^[28]采用 LASSO 回归，2 项研究^[24, 26]采用机器学习算法（含 Logistic 回归），1 项研究^[16]未提及建模方法。变量选择方面，13 项研究^[17–23, 25, 27, 29–32]基于单因素和（或）多因素分析。对于缺失数据处理，3 项研究^[21, 24, 26]分别采用期望最大化、均值填充、随机森林插补法处理缺失值，1 项研究^[25]直接删除缺失数据，其余文献^[16–20, 22–23, 27–32]均未明确报告数据是否存在缺失。模型多以列线图^[17, 19–23, 25, 27, 29–31]形式呈现，此外，有 1 项研究^[24]在预测模型基础上开发了一款网络计算器，详见表 3。

2.5 模型预测因子及性能、验证情况

纳入模型的预测因子个数为 4~10 个，出现频次较高的预测因子包括年龄、D-D、卧床时间、合并糖尿病、高血压、受伤至手术时间、体重指数（BMI）、纤维蛋白原（FIB）、凝血酶原时间

表2 纳入文献的偏倚风险和适用性评价
Table 2. Evaluation of risk of bias and applicability of the included literature

纳入研究	偏倚风险				适用性			总体	
	研究对象	预测因子	结局	分析	研究对象	预测因子	结局	偏倚风险	适用性
孙丹丹 ^[16]	-	+	?	-	+	+	+	-	+
胡建华等 ^[17]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
刘芳 ^[18]	-	+	+	-	+	+	+	-	+
戎毅等 ^[19]	-	+	?	-	+	+	+	-	+
罗雪峰等 ^[20]	-	+	?	-	+	+	+	-	+
Huang等 ^[21]	-	-	+	-	+	+	+	-	+
刘芳等 ^[22]	-	+	-	-	+	+	+	-	+
禹永振 ^[23]	-	+	-	-	+	+	+	-	+
Ding等 ^[24]	-	-	?	-	+	+	+	-	+
Bo等 ^[25]	-	-	+	-	+	+	+	-	+
徐青等 ^[26]	-	+	-	-	+	+	+	-	+
邓光桦 ^[27]	-	+	?	-	+	+	+	-	+
郑爱美等 ^[28]	-	-	-	-	+	+	+	-	+
苏艳艳等 ^[29]	-	-	?	-	+	+	+	-	+
赵晓勇等 ^[30]	-	-	?	-	+	+	+	-	+
林文韬等 ^[31]	-	+	-	-	+	+	+	-	+
刘霄龙等 ^[32]	-	-	-	-	+	+	+	-	+

注：+、低偏倚风险/适用性高；-、高偏倚风险/适用性低；？不清楚。

表3 髋部术后DVT风险预测模型的构建情况
Table 3. Construction of DVT risk prediction models after hip surgery

纳入研究	建模方法	候选变量数 (个)	变量筛选	结局事件数 (例)	结果数/候 选变量数	总发生率 (%)	模型呈现方式	缺失数据
孙丹丹 ^[16]	-	25	-	25	1.000	10.1	风险评分量表	-
胡建华等 ^[17]	LR	18	②	67	3.722	21.3	列线图	-
刘芳 ^[18]	LR	13	②	35	2.692	29.2	回归方程	-
戎毅等 ^[19]	LR	51	①②	50	0.980	15.4	列线图	-
罗雪峰等 ^[20]	LR	22	①	30	1.364	13.8	列线图	-
Huang等 ^[21]	LR	29	①②	62	2.138	43.1	列线图	期望最大化法
刘芳等 ^[22]	LR	23	①	40	1.739	15.2	列线图	-
禹永振 ^[23]	LR	16	①②	60	3.750	17.4	列线图	-
Ding等 ^[24]	LR、MLP、 XGBoost、AdaBoost、 GBC、KNN	27	Lasso回归	76	2.815	7.3	SHAP总结图； 网络计算器	均值填充
Bo等 ^[25]	LR	20	①②	132	6.600	建模组：37.4	列线图	删除
徐青等 ^[26]	LR、KNN、SVM、 NB、MLP、XGBoost	26	机器学习 方法	92	3.538	建模组：27.6	SHAP总结图	随机森林插补
邓光桦 ^[27]	LR	12	①②	161	13.417	建模组：24.9	列线图	-
郑爱美等 ^[28]	Lasso回归	22	Lasso回归	41	1.864	建模组：36.6	回归方程	-
苏艳艳等 ^[29]	LR	13	①②	36	2.769	33.3	列线图	-
赵晓勇等 ^[30]	LR	23	②	52	2.261	25.2	列线图	-
林文韬等 ^[31]	LR	14	②	72	5.143	19.8	列线图	-
刘霄龙等 ^[32]	LR	18	①②	31	1.722	20.9	回归方程	-

注：①.单因素分析；②.多因素分析；LR.Logistic回归；MLP.多层感知器；XGBoost.极端梯度提升；AdaBoost.自适应提升；GBC.梯度提升分类器；KNN.K-近邻算法；SVM.支持向量机；NB.朴素贝叶斯；-未报告。

(PT)、活化部分凝血活酶时间 (APTT)。对于纳入研究的 27 个模型, 主要通过受试者工作特征曲线下面积 (AUC) 评价其区分能力, AUC 为 0.579~0.982, 除徐青等^[26] 研究中的 Logistic 回归和贝叶斯模型外, 其余研究模型的 AUC

均 ≥ 0.7 , 预测性能较好; 模型校准度评估采用 Hosmer-Lemeshow 检验、校准曲线和 Brier 评分等方法, 但仅有部分研究进行了评估。模型验证方面, 12 项研究^[17-18, 20-22, 24-28, 30, 32] 开展了模型内部验证, 详见表 4。

表4 髋部术后DVT风险预测模型预测因子及性能、验证情况
Table 4. Predictors and performance, validation of DVT risk prediction models after hip surgery

纳入研究	预测因子	预测性能				校准方法	验证方法
		AUC(建模/验证)	灵敏度	特异度	准确度		
孙丹丹 ^[16]	-	0.821	0.880	0.655	-	-	-
胡建华等 ^[17]	年龄、吸烟、术前卧床时间、D-D、NLR、PLR、LMR、MHR	0.882	-	-	-	校准曲线	内部验证
刘芳 ^[18]	年龄、吸烟、糖尿病、高血压、ISS、骨折至手术时间、未使用抗凝药物、早期康复锻炼缺失	0.794	0.893	0.902	0.954	-	内部验证
戎毅等 ^[19]	FIF、受伤至手术时间、合并糖尿病、脑血管疾病	0.798	-	-	-	校准曲线、H-L检验	-
罗雪峰等 ^[20]	年龄、糖尿病、TNF- α 、牵引制动、卧床时间	0.937	-	-	-	校准曲线、H-L检验	内部验证
Huang等 ^[21]	年龄、ASA分级、D-D、下肢DVT史、ALB、PLT	0.838	-	-	-	校准曲线	内部验证
刘芳等 ^[22]	年龄、入院ALB、入院PLT、入院D-D、受伤至手术时间、切开复位、术后卧床时间	0.832	-	-	-	校准曲线	内部验证
禹永振 ^[23]	糖尿病、受伤至手术时间、卧床时间、联合模型	0.931	0.912	0.869	-	校准曲线、H-L检验	-
Ding等 ^[24]	DBIL、IDBL、APTT、ALB、肌酐、D-D、CRP	LR (0.944)	0.913	0.953	0.951	Brier评分	内部验证
		MLP (0.955)	0.913	0.874	0.876		
		XGBoost (0.982)	0.767	0.793	0.759		
		AdaBoost (0.980)	0.975	0.979	0.980		
		GBC (0.978)	0.913	0.981	0.978		
		KNN (0.837)	0.826	0.774	0.837		
Bo等 ^[25]	年龄、手术入路、术后D-D、入院时下肢静脉超声诊断	0.808/0.815	-	-	-	校准曲线	内部验证
徐青等 ^[26]	年龄、TC、术后卧床时间、FIB、术前D-D、BMI、PT、APTT、TG、术中失血量	LR (0.579)	0.550	0.609	0.566	Brier评分	内部验证
		KNN (0.755)	0.683	0.826	0.723		
		SVM (0.753)	0.767	0.739	0.759		
		NB (0.681)	0.667	0.696	0.675		
		MLP (0.739)	0.783	0.696	0.759		
		XGBoost (0.800)	0.817	0.783	0.807		
邓光桦 ^[27]	年龄、BMI、糖尿病、高能量损伤、骨折至手术时间	0.837/0.793	-	-	-	校准曲线	内部验证
郑爱美等 ^[28]	年龄、BMI、D-D、FIB、PT、APTT	0.935/0.920	0.944	0.833	-	-	内部验证
苏艳艳等 ^[29]	手术时间、麻醉方式、TC、D-D	0.832	-	-	-	校准曲线	-
赵晓勇等 ^[30]	受伤至入院时间、术后卧床时间、糖尿病、FIF、D-D、CRS	0.880	0.846	0.934	-	校准曲线、H-L检验	内部验证
林文韬等 ^[31]	年龄、BMI、糖尿病、既往血栓史、手术时间、双侧置换、卧床时间、使用抗凝药物	0.867	-	-	-	H-L检验	-

续表4

纳入研究	预测因子	预测性能					验证方法
		AUC(建模/验证)	灵敏度	特异度	准确度	校准方法	
刘霄龙等 ^[32]	年龄、BMI、下肢静脉曲张、术前D-D、术前ACA、术前Hey、手术时间、术后卧床时间、术后抗凝药、术后穿医用弹力袜	0.773	0.903	0.512	-	H-L检验	内部验证

注：D-D.D-二聚体；NLR.中性粒细胞与淋巴细胞比值；PLR.血小板与淋巴细胞比值；LMR.淋巴细胞与单核细胞比值；MHR.单核细胞与高密度脂蛋白胆固醇比值；ISS.创伤严重程度评分；FIF.股骨转子间骨折；TNF-α.肿瘤坏死因子α；ASA.美国麻醉医师协会；DVT.深静脉血栓；ALB.白蛋白；PLT.血小板；DBIL.直接胆红素；IDBL.间接胆红素；APTT.活化部分凝血活酶时间；CRP.C反应蛋白；TC.总胆固醇；FIB.纤维蛋白原；BMI.体重指数；PT.凝血酶原时间；TG.甘油三酯；CRS.临床风险评分(原始文献中特指Caprini血栓风险)；ACA.抗心磷脂抗体；Hey.同型半胱氨酸；LR.Logistic回归；MLP.多层感知器；XGBoost.极端梯度提升；AdaBoost.自适应提升；GBC.梯度提升分类器；KNN.K-近邻算法；SVM.支持向量机；NB.朴素贝叶斯；H-L检验.Hosmer-Lemeshow检验；AUC.受试者工作特征曲线下面积；-为未报告。

3 讨论

本研究共纳入 17 项研究，涉及 27 个预测模型，除徐青等^[26]开发的 Logistic 回归和贝叶斯模型的 AUC 值 < 0.7 外，其余预测模型的 AUC 值在 0.739~0.982 之间，说明模型总体上预测性能较好，能有效识别髋部术后高危 DVT 人群。但纳入的 17 项研究总体偏倚风险均为高风险，原因可能包括：①研究设计方面，模型多是基于单中心、回顾性数据进行构建，纳入的研究类型以病例对照研究为主，在数据收集和处理过程中可能存在选择偏倚和回忆偏倚，影响模型准确性^[33]。②模型构建方面，有研究表明当 EPV ≥ 20 时，可防止模型过拟合；当验证研究样本量 ≥ 100 时，能有效评估模型的稳健性和可靠性^[34]。本文纳入的 17 项研究 EPV 均未达到 20，16 项研究^[16-26, 28-32]中发生结局事件人数 / 候选变量数比 < 10，且建模样本量相对自变量来说严重不足，可能会导致模型整体偏倚风险增大。③数据处理方面，PROBAST 推荐使用多重填补方法，但纳入研究中仅有 4 项研究^[21, 24-26]对缺失数据的处理进行了报道，可能会给模型带来不确定性；同时在数据处理时也未详细报道连续变量、分类变量的处理方法及依据。④变量筛选方面，多项研究在单因素分析基础上筛选变量，易忽略潜在的风险因素，且在筛选过程中也未实行盲法，可能导致模型过度拟合，一定程度上影响模型的预测性能^[35]。

纳入的 17 项研究中，建模方法主要分为基于传统统计学方法和机器学习算法两类，其中 13 项研究^[17-23, 25, 27, 29-32]采用传统 Logistic 回归，3 项研究^[24, 26, 28]采用机器学习算法，其余未提及建模方法。传统 Logistic 回归的优点是结果易于解释且在医学领域应用广泛，但在处理多维非线性数

据时尚存不足。机器学习作为人工智能的核心，相较于前者，在面对数量庞大、形态复杂的非结构化数据时，能独立识别数据间的潜在交互关系，为疾病预测提供更加稳健、准确的结果。未来研究可基于传统与机器学习相结合构建预测模型，通过比较筛选出最佳预测模型，以提高其预测的准确性和可靠性。此外，模型验证是模型开发和应用过程中不可或缺的步骤，只有经过严格的验证流程才能有效评估模型性能和泛化能力^[36]。但本研究中纳入模型的验证范围过于局限，纳入的 17 项研究均未进行外部验证，且尚未发现已应用于临床的预测模型，间接反映了当前模型构建领域“多开发、少验证”的窘境，其临床推广性和可操作性有待进一步提升。

本研究结果显示，髋部手术患者 DVT 风险预测模型的预测因子以一般特征（年龄、BMI）、术前情况（卧床时间、受伤至手术时间）、实验室检查指标（D-D、FIB、PT、APTT）、合并症（如糖尿病、高血压）4 大类为主。一方面提示上述指标可为髋部术后 DVT 的形成风险提供预警作用，医务人员应加强对高危群体中上述预测因子的评估，及早进行干预，从而有效降低髋部术后 DVT 的发生率。另一方面也反映了当前变量筛选方式过于单一局限，数据处理方式欠妥，造成开发的模型面临同质性的问题，可能会忽略潜在危险因素对疾病的影响。因此，未来应充分利用临床数据，探索多种危险因素，丰富模型呈现方式，以突破现有模型限制，提高其准确性和可靠性。

本研究存在以下局限性：①纳入研究均为回顾性研究，易发生信息偏倚影响研究结果；②纳入研究的建模方法多是基于传统统计学方法，无法准确识别多变量间的深层交互关系，可能影响预测因子的筛选和模型的构建；③纳入研究样本

量差异较大,且对于缺失值的处理缺乏统一标准,可能影响结果准确;④仅纳入了中、英文文献,可能存在发表偏倚。

综上,本研究共纳入 17 项研究,涉及 27 个风险预测模型,结果显示总体上模型预测效能和适用性较好,但存在偏倚风险较高、建模方法局限、数据处理欠妥、缺少外部验证等问题,建议未来应在模型构建过程中遵守构建标准规范、完善研究设计、优化变量筛选方式、结合多种机器学习算法进行大样本、多中心、前瞻性的研究。同时要考虑对已开发模型进行验证和优化,深入挖掘 DVT 发生的病理生理学机制,在明确潜在风险因素的基础上开展最佳临床实践,同时应注重将模型转化为网络计算器或其他形式,对风险程度进一步分级,以便医护人员实施针对性、个性化的 DVT 管理策略。

伦理声明: 不适用

作者贡献: 文献筛选:谈周、滕慧;数据提取:滕慧、陈晨;偏倚风险与适用性评价:陈晨、罗星宇;论文撰写:谈周;论文审定与经费支持:李春梅、刘平芳

数据获取: 本研究中使用和(或)分析的所有数据均包含在本文中

利益冲突声明: 无

致谢: 不适用

参考文献

- 1 Sloan M, Premkumar A, Sheth NP. Projected volume of primary total joint arthroplasty in the U.S., 2014 to 2030[J]. J Bone Joint Surg Am, 2018, 100(17): 1455–1460. DOI: [10.2106/JBJS.17.01617](#).
- 2 门蒙, 杨人军, 李连铭, 等. 早期、晚期手术时机对老年髋部骨折患者疗效及近远期生活质量对比[J]. 中国老年学杂志, 2021, 41(19): 4254–4256. [Men M, Yang RJ, Li LM, et al. Comparison of early and late surgical timing on the efficacy and near- and long-term quality of life of elderly hip fracture patients[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2021, 41(19): 4254–4256.] DOI: [10.3969/j.issn.1005-9202.2021.19.030](#).
- 3 北京护理学会手术室专业委员会, 中日友好医院. 手术室静脉血栓栓塞症预防与护理专家共识[J]. 中华现代护理杂志, 2022, 28(20): 2661–2669. [Beijing Nursing Association Operating Room Committee, China-Japanese Friendship Hospital. Expert consensus on prevention and care of venous thromboembolism in the operating theatre[J]. Chinese Journal of Modern Nursing, 2022, 28(20): 2661–2669.] DOI: [10.3760/cma.j.cn115682-20220411-01731](#).
- 4 Moumneh T, Riou J, Douillet D, et al. Validation of risk assessment models predicting venous thromboembolism in acutely ill medical inpatients: a cohort study[J]. J Thromb Haemost, 2020, 18(6): 1398–1407. DOI: [10.1111/jth.14796](#).
- 5 Stone J, Hangge P, Albadawi H, et al. Deep vein thrombosis: pathogenesis, diagnosis, and medical management[J]. Cardiovasc Diagn Ther, 2017, 7(Suppl 3): S276–S284. DOI: [10.21037/cdt.2017.09.01](#).
- 6 Yu X, Wu Y, Ning R. The deep vein thrombosis of lower limb after total hip arthroplasty: what should we care[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2021, 22(1): 547. DOI: [10.1186/s12891-021-04417-z](#).
- 7 Niu S, Li J, Zhao Y, et al. Preoperative deep venous thrombosis (DVT) after femoral neck fracture in the elderly, the incidence, timing, location and related risk factors[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2021, 22(1): 264. DOI: [10.1186/s12891-021-04145-4](#).
- 8 Song K, Yao Y, Rong Z, et al. The preoperative incidence of deep vein thrombosis (DVT) and its correlation with postoperative DVT in patients undergoing elective surgery for femoral neck fractures[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2016, 136(10): 1459–1464. DOI: [10.1007/s00402-016-2535-4](#).
- 9 任鑫, 张佳宇, 张美霞. 老年髋部骨折患者围术期深静脉血栓形成预防和管理的最佳证据研究[J]. 空军军医大学学报, 2025, 46(2): 236–241. [Ren X, Zhang JY, Zhang MX. Best evidence for perioperative prevention and management of deep vein thrombosis in elderly patients with hip fractures[J]. Journal of Air Force Medical University, 2025, 46(2): 236–241.] DOI: [10.13276/j.issn.2097-1656.2025.02.017](#).
- 10 张蕊, 郑黎强, 潘国伟. 疾病发病风险预测模型的应用与建立[J]. 中国卫生统计, 2015, 32(4): 724–726. [Zhang R, Zheng LQ, Pan GW. Application and establishment of disease incidence risk prediction models[J]. China Health Statistics, 2015, 32(4): 724–726.] <https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/ChVQZXJpb2RpY2FsQ0hJMjAyNTA2MjIjSD3pnd3N0ajIwMTUwNDA1NxoIZnFwajl3eW8%3D>
- 11 高奉琼, 马炎, 陈伟, 等. 骨科大手术相关深静脉血栓风险预测模型的研究进展[J]. 海南医学, 2024, 35(7): 1060–1064. [Gao FQ, Ma Y, Chen W, et al. Research progress on risk prediction models of deep venous thrombosis in major orthopedic surgery[J]. Hainan Medical Journal, 2024, 35(7): 1060–1064.] DOI: [10.3969/j.issn.1003-6350.2024.07.030](#).
- 12 鲁小丹, 卫建华, 沈建通, 等. 预测模型系统评价的制作方法步骤[J]. 中国循证医学杂志, 2023, 23(5): 602–609. [Lu XD, Wei JH, Shen JT, et al. Methods and steps for systematic evaluation of predictive models[J]. Chinese Journal of Evidence-Based Medicine, 2023, 23(5): 602–609.] DOI: [10.7507/1672-2531.202212112](#).
- 13 陈香萍, 张奕, 庄一渝, 等. PROBAST: 诊断或预后多因素预测模型研究偏倚风险的评估工具[J]. 中国循证医学杂志, 2020, 20(6): 737–744. [Chen XP, Zhang Y, Zhuang YY, et al. PROBAST: a tool for assessing risk of bias in the study of diagnostic or prognostic multi-factorial predictive models[J].

- Chinese Journal of Evidence-Based Medicine, 2020, 20(6): 737–744.] DOI: [10.7507/1672-2531.201910087](https://doi.org/10.7507/1672-2531.201910087).
- 14 Moons KGM, Wolff RF, Riley RD, et al. PROBAST: a tool to assess risk of bias and applicability of prediction model studies: explanation and elaboration[J]. Ann Intern Med, 2019, 170(1): W1–W33. DOI: [10.7326/M18-1377](https://doi.org/10.7326/M18-1377).
- 15 Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, et al. Preferred reporting items for systematic reviews and Meta-analyses: the PRISMA statement[J]. PLoS Med, 2009, 6(7): e1000097. DOI: [10.1371/journal.pmed.1000097](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097).
- 16 孙丹丹. 基于德尔菲法的髋关节置换术患者下肢深静脉血栓风险预警模型的构建[D]. 内蒙古: 内蒙古医科大学, 2021. [Sun DD. Construction of an early warning model of lower limb deep vein thrombosis risk in hip arthroplasty patients based on the Delphi method[D]. Inner Mongolia: Inner Mongolia Medical University, 2021.] DOI: [10.27231/d.cnki.gnmcy.2020.000493](https://doi.org/10.27231/d.cnki.gnmcy.2020.000493).
- 17 胡建华, 黄洁, 肖莹, 等. 新型炎症反应标志物对老年股骨转子间骨折术后下肢深静脉血栓的预测价值[J]. 护理研究, 2022, 36(21): 3792–3798. [Hu JH, Huang J, Xiao Y, et al. Predictive value of new inflammatory response markers for lower extremity deep venous thrombosis after intertrochanteric fracture surgery in elderly patients[J]. Chinese Nursing Research, 2022, 36(21): 3792–3798.] DOI: [10.12102/j.issn.1009-6493.2022.21.006](https://doi.org/10.12102/j.issn.1009-6493.2022.21.006).
- 18 刘芳. 股骨颈骨折患者术后下肢深静脉血栓风险预测系统的构建[J]. 当代护士(上旬刊), 2022, 29(6): 1–5. [Liu F. Construction and preventive nursing research on the risk prediction system of lower limb deep venous thrombosis in patients with femoral neck fracture surgery[J]. Modern Nurse, 2022, 29(6): 1–5.] DOI: [10.19791/j.cnki.1006-6411.2022.16.001](https://doi.org/10.19791/j.cnki.1006-6411.2022.16.001).
- 19 戎毅, 於浩, 杨俊峰, 等. 老年髋部骨折患者术后并发下肢深静脉血栓的危险因素分析及风险预测[J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(33): 5357–5363. [Rong Y, Yu H, Yang JF, et al. Risk factor analysis and prediction of deep venous thrombosis of lower extremity in elderly patients with hip fracture after operation[J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2022, 26(33): 5357–5363.] DOI: [10.12307/2022.786](https://doi.org/10.12307/2022.786).
- 20 罗雪峰, 易知非, 谢增如. C 型骨盆骨折患者内固定术后下肢深静脉血栓形成危险因素分析及相关列线图模型的构建[J]. 重庆医学, 2023, 52(23): 3583–3588, 3593. [Luo XF, Yi ZF, Xie ZR. Analysis of risk factors for lower extremity deep venous thrombosis in patients with type C pelvic fracture patients after internal fixation and construction of related nomogram model[J]. Chongqing Medicine, 2023, 52(23): 3583–3588, 3593.] DOI: [10.3969/j.issn.1671-8348.2023.23.011](https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-8348.2023.23.011).
- 21 Huang G, Han F, Wu H, et al. Risk factors of lower extremity deep vein thrombosis after artificial femoral head replacement for elderly femoral neck fractures and a nomogram model construction[J]. Altern Ther Health Med, 2024, 30(8): 325–331. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38064610/>
- 22 刘芳, 侯喜燕. 股骨颈骨折内固定术后并发下肢 DVT 的风险预测列线图构建及预防护理建议[J]. 全科护理, 2024, 22(5): 905–909. [Liu F, Hou XY. Construction of a risk prediction column chart for lower limb DVT after internal fixation of femoral neck fracture and recommendations for preventive care[J]. Chinese General Practice Nursing, 2024, 22(5): 905–909.] DOI: [10.12104/j.issn.1674-4748.2024.05.027](https://doi.org/10.12104/j.issn.1674-4748.2024.05.027).
- 23 禹永振. 高龄髋部骨折患者术后深静脉血栓形成风险预测模型的构建与评价[J]. 现代医学与健康研究电子杂志, 2024, 8(16): 19–22. [Yu YZ. Construction and evaluation of postoperative deep vein thrombosis risk prediction model in elderly hip fracture patients[J]. Modern Medicine and Health Research, 2024, 8(16): 19–22.] DOI: [10.3969/j.issn.2096-3718.2024.16.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.2096-3718.2024.16.007).
- 24 Ding R, Ding Y, Zheng D, et al. Machine learning-based screening of risk factors and prediction of deep vein thrombosis and pulmonary embolism after hip arthroplasty[J]. Clin Appl Thromb Hemost, 2023, 29: 10760296231186145. DOI: [10.1177/10760296231186145](https://doi.org/10.1177/10760296231186145).
- 25 Bo R, Chen X, Zheng X, et al. A nomogram model to predict deep vein thrombosis risk after surgery in patients with hip fractures[J]. Indian J Orthop, 2024, 58(2): 151–161. DOI: [10.1007/s43465-023-01074-3](https://doi.org/10.1007/s43465-023-01074-3).
- 26 徐青, 余冰, 周佩敏, 等. 基于机器学习与 SHAP 的全髋关节置换术患者下肢深静脉血栓可解释性预测模型构建研究[J]. 中国医院统计, 2024, 31(1): 11–18, 24. [Xu Q, Yu B, Zhou PM, et al. Construction of interpretable prediction model for lower limb deep vein thrombosis in patients undergoing total hip arthroplasty based on machine learning and SHAP[J]. Chinese Journal of Hospital Statistics, 2024, 31(1): 11–18, 24.] DOI: [10.3969/j.issn.1006-5253.2024.01.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-5253.2024.01.003).
- 27 邓光桦. 列线图预测股骨转子间骨折患者下肢深静脉血栓形成的研究[J]. 中国骨与关节杂志, 2024, 13(7): 540–545. [Deng GH. Nomogram for predicting deep vein thrombosis in the lower extremity of intertrochanteric femoral fractures[J]. Chinese Journal of Bone and Joint, 2024, 13(7): 540–545.] DOI: [10.3969/j.issn.2095-252X.2024.07.011](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-252X.2024.07.011).
- 28 郑爱美, 吴银生. 凝血指标对髋部骨折患者血栓形成风险的预测[J]. 中国现代医生, 2024, 62(23): 48–52. [Zheng AM, Wu YS. Prediction of thrombosis risk in patients with hip fracture by coagulation index[J]. China Modern Doctor, 2024, 62(23): 48–52.] DOI: [10.3969/j.issn.1673-9701.2024.23.011](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9701.2024.23.011).
- 29 苏艳艳, 李娜, 田轩. 股骨颈骨折后下肢深静脉血栓形成的列线图风险预测模型构建[J]. 血管与腔内血管外科杂志, 2025, 11(5): 608–613. [Su YY, Li N, Tian X. Construction of the column chart risk prediction model for lower extremity deep venous thrombosis after femoral neck fracture[J]. Journal of Vascular and Endovascular Surgery, 2025, 11(5): 608–613.] DOI: [10.19418/j.cnki.issn2096-0646.2025.05.07](https://doi.org/10.19418/j.cnki.issn2096-0646.2025.05.07).
- 30 赵晓勇, 刘弘扬, 任原. 基于 Caprini 血栓风险评分及 D-二聚体构建老年髋部骨折术后深静脉血栓形成的风险预测模型[J]. 安徽医药, 2024, 28(12): 2452–2457, 2554. [Zhao XY, Liu HY, Ren Y. Risk prediction model for deep vein thrombosis after hip fracture surgery in the elderly based on Caprini thrombosis risk score and D-dimer[J]. Anhui Medical and

- Pharmaceutical Journal, 2024, 28(12): 2452–2457, 2554.] DOI: [10.3969/j.issn.1009-6469.2024.12.024](https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-6469.2024.12.024).
- 31 林文韬, 冯尔宥, 姚志鹏, 等. 全髋置换术后下肢深静脉血栓形成的风险预测 [J]. 中国矫形外科杂志, 2024, 32(23): 2200–2204. [Lin WT, Feng EY, Yao ZP, et al. Risk prediction of lower extremity deep vein thrombosis after total hip arthroplasty[J]. Orthopedic Journal of China, 2024, 32(23): 2200–2204.] DOI: [10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.110251](https://doi.org/10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.110251).
- 32 刘霄龙, 张良, 张士杰, 等. 影响人工全髋关节置换术后下肢深静脉血栓的危险因素及风险预测模型构建 [J]. 医药论坛杂志, 2025, 46(9): 953–958. [Liu XL, Zhang L, Zhang SJ, et al. Risk factors for lower extremity deep vein thrombosis after total hip replacement and construction of risk prediction model[J]. Journal of Medical Forum, 2025, 46(9): 953–958.] DOI: [10.20159/j.cnki.jmf.2025.09.012](https://doi.org/10.20159/j.cnki.jmf.2025.09.012).
- 33 陶立元, 刘珏, 曾琳, 等. 针对个体的预后或诊断多因素预测模型报告规范 (TRIPOD) 解读 [J]. 中华医学杂志, 2018, 98(44): 3556–3560. [Tao LY, Liu J, Zeng L, et al. Interpretation of the reporting specification for individual-specific prognostic or diagnostic multifactorial predictive models (TRIPOD)[J]. National Medical Journal of China, 2018, 98(44): 3556–3560.] DOI: [10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.44.002](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.44.002).
- 34 莫航沅, 陈亚萍, 韩慧, 等. 临床预测模型研究方法与步骤 [J]. 中国循证医学杂志, 2024, 24(2): 228–236. [Mo HF, Chen YP, Han H, et al. Methods and steps of clinical prediction modelling[J]. Chinese Journal of Evidence-Based Medicine, 2024, 24(2): 228–236.] DOI: [10.7507/1672-2531.202308135](https://doi.org/10.7507/1672-2531.202308135).
- 35 许汝福. Logistic 回归变量筛选及回归方法选择实例分析 [J]. 中国循证医学杂志, 2016, 16(11): 1360–1364. [Xu RF. Selection for independent variables and regression method in Logistic regression: an example analysis[J]. Chinese Journal of Evidence-Based Medicine, 2016, 16(11): 1360–1364.] DOI: [10.7507/1672-2531.20160205](https://doi.org/10.7507/1672-2531.20160205).
- 36 王俊峰, 章仲恒, 周支瑞, 等. 临床预测模型: 模型的验证 [J]. 中国循证心血管医学杂志, 2019, 11(2): 141–144. [Wang JF, Zhang ZH, Zhou ZR, et al. Clinical prediction models: validation of models[J]. Chinese Journal of Evidence-Based Cardiovascular Medicine, 2019, 11(2): 141–144.] DOI: [10.3969/j.issn.1674-4055.2019.02.04](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-4055.2019.02.04).
- 收稿日期: 2025 年 01 月 06 日 修回日期: 2025 年 03 月 28 日
本文编辑: 李绪辉 曹越

引用本文: 谈周, 李春梅, 滕慧, 等. 髋部术后患者深静脉血栓风险预测模型的系统评价 [J]. 医学新知, 2025, 35(8): 947–956. DOI: [10.12173/j.issn.1004-5511.202501030](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-5511.202501030).

Tan Z, Li CM, Teng H, et al. Systematic evaluation of predictive models for deep vein thrombosis risk in patients undergoing hip surgery[J]. Yixue Xinzhi Zazhi, 2025, 35(8): 947–956. DOI: [10.12173/j.issn.1004-5511.202501030](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-5511.202501030).